

## 건축 마감재와 가구재의 VOCs, HCHO 유해물질에 따른 공동주택 적정 환기량 산정에 관한 연구

### A Study on the Calculation of Ventilation Rate in Apartment House according to VOCs and HCHO Substances of Building Material and Furniture

최정민\* 박진석\*\* 손영환\*\*\* 박창섭\*\*\*\* 박민용\*\*\*\*\* 이경희\*\*\*\*\*  
Choi, Jeong-Min Park, Jin-Seok Son, Young-Hwan Park, Chang-Sub Park, Min-Yong Lee, Kyung-Hee

#### Abstract

Because of the airtightness of building, misuse of building materials and abuse of furniture, indoor air pollution problems have been increasingly concerned especially with apartment buildings. To improve the IAQ(Indoor Air Quality) in apartment building, this study was aimed at analyzing the factor of interior building material and furniture and calculating the ventilation rate of living room and bed room according to the surface area of interior building material and furniture in terms of VOCs(Volatile Organic Compounds) and HCHO(Formaldehyde). The results of this study are as follows; 1) In the concerned rooms, the living room has less pollution emission rate L(surface area/volume) than that of the bed room but, the living room needs more ventilation rate than that of the bed room because of built-in furniture in terms of VOCs and HCHO. 2) Built-in interior furniture is very important factor in IAQ problems of apartment building, but until now there is no provision about the built-in furniture, so that the provision must be regulated to control the IAQ. 3) To control the IAQ problem, the effective ventilation plans must be established according to the required ventilation rate by means of natural or mechanical ventilation method.

Keywords : Indoor Air Quality, Apartment Building, Interior Building Material, VOCs, HCHO, Ventilation Rate

주 요 어 : 실내공기질, 공동주택, 건축 마감재, 휘발성유기화합물, 포름알데히드, 환기량

#### I. 서 론

##### 1. 연구의 배경 및 목적

다중이용시설등의 실내공기질 관리법에 따르면, 2004년 5월 30일 이후 100세대 이상 규모의 신축 공동주택에 대해서는 휘발성유기화합물(이하, VOCs 또는 TVOC) 및 포름알데히드(이하, HCHO)의 오염물질을 측정하여 그 결과를 입주자 등에게 의무적으로 알리게 되어 있다. 이에 따라 각 건설회사에서는 이를 개선하기 위한 많은 노력과 연구를 경주하고 있다.

이러한 노력의 일환으로 각 건설회사는 일차적으로 정부에서 인정하는 기관에서 인증한 실내공기질 친환경자재의 사용등 다양한 노력을 경주하고 있으나, 이러한 제

품들의 사용범위나 면적등에 따라서는 오염물질 농도가 달라질 수 있으므로 별도의 환기계획을 고려하는 것이 필요하다. 또한 입주전 각 공종별 공사 완료이후에도 거주자 선택에 따라 가구반입이 이루어지게 되며 여기서도 상당량의 추가 오염물질이 발생할 수 있으므로 이를 고려한 환기계획의 중요성이 더욱 강조된다 하겠다.

이외에도 다중이용시설의 환기시설 설치 의무화와 초고층 주거양식의 출현에 따라 공동주택내 환기설비의 도입이 필연적인 상황에서 환기설비 용량 산정시 어느 정도 환기량을 제공해야 하는지에 대한 자료구축도 필요하다.

이에 본 연구에서는 신축 공동주택 내 거실과 침실에 대해 실내 사용 마감재와 가구재의 종류와 사용량, 즉 방출등급에 따른 오염물질 발생정도와 사용면적을 산정하고 이러한 농도를 VOCs 및 HCHO에 대한 공기질 유지 및 권고 기준치 이하로 유지하기 위한 적정 환기량 값을 구하고자 하는데 그 목표를 두고 있다.

##### 2. 연구 방법 및 범위

현재까지 신축 공동주택의 오염물질 농도에 대한 기준치는 마련되어 있지 않고 단지 입주전 공정시험방법에 의해 실내 오염물질을 측정하도록 되어 있으며, 측정항목은

\* 정희원, 창원대학교 건축학부 교수

\*\* 정희원, 창원대학교 산업정보대학원 석사과정

\*\*\* 정희원, 창원대학교 대학원 석사과정

\*\*\*\* 정희원, 창신대학 건축디자인과 교수

\*\*\*\*\* 정희원, 부산정보대학 건축과 교수

\*\*\*\*\* 정희원, 밀양대학교 건축학부 교수

본 연구는 환경부 2004년도 차세대 핵심환경기술개발사업인 '주 거건물의 실내공기질 향상을 위한 성능평가 및 지침 프로그램 개발' 연구의 일환으로 수행되었습니다.

입주전 신축건물에서 주로 발생되는 VOCs와 HCHO로 한정되어 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 공동주택의 VOCs와 HCHO의 기준치가 마련되어 있지 않은 상황에서 VOCs의 경우 의료기관의 권고기준에 해당하는  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , HCHO는 다중이용시설의 실내공기질 유지기준인  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용하여 이 기준치 이하로 오염물질 농도를 유지하기 위한 적정 환기량값을 제시하고자 한다.

환기량 산정을 위한 오염물질 발생원으로는 바닥과 벽체, 천장에 사용되는 건축 마감재로 한정되어 실내공기 오염의 주요 원인으로 꼽히고 있는 가구도 포함시켜 분석대상으로 하였으며, 이상의 환기량값 산정을 위해 실제 신축 공동주택들을 조사하여 그 규모에 따른 분석을 실시하였다.

신축 공동주택의 실내 공기의 오염물질 개선을 위해서는 다양한 대책방안이 고려될 수 있으나, 본 연구에서는 공동주택의 거실과 침실에서의 실내 사용 마감재 및 가구 사용량에 따른 오염물질 농도를 기준치 이하로 유지하기 위한 적정 환기량값을 분석하는 것을 연구의 범위로 설정하였다.

## II. 예비적 고찰

### 1. 실내의 공기질 기준

우리나라의 경우 2004년도 5월 30일부터 다중이용시설등의 실내공기질 관리법에 의해 지하역사, 도서관, 의료기관, 실내주차장 등 다중이용시설의 종류 및 주요 오염물질 항목에 따라 실내공기질 기준을 <표 1>, <표 2>와 같이 유지기준과 권고기준으로 이원화하여 관리방법을 적용하고 있다.

또한 신축 공동주택에 대해서는 실내부에 오염물질이 고농도로 존재할 수 있으므로, 입주민이 주의할 수 있도록 정보를 제공하기 위해 건물 완공 후 입주 전에 주로 발생되는 HCHO와 VOCs중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 1,4-디클로벤젠, 스티렌 등 총 7종으로 한정되어 공기질 측정 및 공고를 의무화하고 있다.

2004년 12월 발표된 정부의 '실내공기질 관리 기본계획'에 의하면 VOCs, HCHO 등의 오염물질이 다양으로 방출되는 건축자재의 사용제한을 기준의 다중시설 이외에 신축공동주택, 학교 등에도 확대하고 이와함께 가구, 화장품 등의 생활용품에도 적용하여 관리해 나갈 계획으로 있다. 또한, 현재 기준이 마련되지 않은 신축 공동주택의 실내공기질 기준은 사례 및 실태조사 등을 통해 설정을 추진 중에 있다.

### 2. 오염물질 발생원의 분류

공동주택에는 많은 종류의 내장재료들이 사용되며, 이 마감재료에는 다양한 VOCs와 HCHO를 함유하고 있어 이들이 실내 공기중으로 방출하게 된다. 특히 주거용 건물은 동일한 바닥면적을 기준으로 할 때 다른 건물에 비

표 1. 다중이용시설의 실내공기질 유지기준

다중이용시설	오염물질 항목	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{CO}_2$ (ppm)	HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	총부유 세균 (CFU/ $\text{m}^3$ )	CO (ppm)
지하역사, 지하도상가·여객자동차터미널의 대합실 및 철도역사의 대합실(연면적 $2000 \text{ m}^2$ 이상), 공항시설중 여객터미널(연면적 $1500 \text{ m}^2$ 이상), 항만시설중 대합실(연면적 $5000 \text{ m}^2$ 이상), 도서관·박물관 및 미술관(연면적 $3000 \text{ m}^2$ 이상), 장례식장 및 찻집방(연면적 $1000 \text{ m}^2$ 이상), 대규모점포	150 이하	1,000 이하	120 이하	-	-	10 이하
의료기관(연면적 $2000 \text{ m}^2$ 이상 또는 병상수 100개 이상), 국공립 보육시설(연면적 $1000 \text{ m}^2$ 이상), 국공립 노인전문요양시설·유료노인전문요양시설 및 노인전문병원(연면적 $1000 \text{ m}^2$ 이상), 산후조리원(연면적 $500 \text{ m}^2$ 이상)	100 이하	-	-	800 이하	-	-
실내주차장 (연면적 $2000 \text{ m}^2$ 이상)	200 이하	-	-	-	-	25 이하

표 2. 다중이용시설의 실내공기질 권고기준

다중이용시설	오염물질 항목	$\text{NO}_2$ (ppm)	Rn (pCi/l)	VOCs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
지하역사, 지하도상가·여객자동차터미널의 대합실 및 철도역사의 대합실(연면적 $2000 \text{ m}^2$ 이상), 공항시설중 여객터미널(연면적 $1500 \text{ m}^2$ 이상), 항만시설중 대합실(연면적 $5000 \text{ m}^2$ 이상), 도서관·박물관 및 미술관(연면적 $3000 \text{ m}^2$ 이상), 장례식장 및 찻집방(연면적 $1000 \text{ m}^2$ 이상), 대규모점포	0.05 이하	4.0 이하	-	500 이하	0.01 이하	0.06 이하
의료기관(연면적 $2000 \text{ m}^2$ 이상 또는 병상수 100개 이상), 국공립 보육시설(연면적 $1000 \text{ m}^2$ 이상), 국공립 노인전문요양시설·유료노인전문요양시설 및 노인전문병원(연면적 $1000 \text{ m}^2$ 이상), 산후조리원(연면적 $500 \text{ m}^2$ 이상) <sup>5</sup>	-	-	-	400 이하	-	-
실내주차장 (연면적 $2000 \text{ m}^2$ 이상)	0.30 이하	-	-	1,000 이하	-	0.08 이하

하여 벽체의 내장재료 사용면적이 증가하여 방출면적도 증가하게 된다. 따라서 공동주택에 사용되는 주요 내장재료의 오염물질 방출특성과 실내공기 오염정도를 파악하고 이에 대한 제어대책을 마련하여야 한다.

따라서 이상의 실내 오염물질 방출을 최소화하기 위해서는 기본적으로 VOCs와 HCHO의 방출량이 적은 건축자재를 선택하여 사용하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 건축자재의 성능확보를 위한 한가지 방법으로서 일반적으로 민간협회의 인증제도가 운영되고 있는데, 우리나라의 경우 한국공기청정협회의 'HB마크'와 환경마크협회의 '환경마크'가 있다. 한국공기청정협회의 경우 실내공기오염물질인 VOCs 및 HCHO의 발생원이 되는 건축

자재의 분류방안으로 건물 시공시 방출강도가 낮은 등급의 자재를 선정하도록 유도하고 적절한 자재의 선정으로부터 실내공기환경을 개선하기 위하여 건축자재로부터 방출되는 VOCs 및 HCHO 농도의 인증등급을 설정하여 시행하고 있다. 시험을 거친 건축자재는 등급에 따라 <표 4>의 인증등급을 기준으로 평가한다. <표 5>는 환경마크 협회 '환경마크'의 인증기준이다.

공동주택에 붙박이 형태로 설치되는 가구나 혹은 선택사양에 의해 설치되는 가구도 실내 오염의 주요 원인으로 지목받고 있다. 그러나 가구의 경우 이를 시험할 수 있는 대형챔버에 의한 평가는 시험시설 부족과 시험비용에 대한 부담으로 건축 일반자재만큼 성능평가가 이루어지지 않고 있는 것이 국내의 실정이다.

한편, 일본의 개정 건축기준법에 의하면 실내 공기질과 관련한 건물 내장재의 제한으로서 건축재료를 HCHO 방출강도에 따라 <표 6>과 같이 구분하고, 이중 제2종과 제3종 HCHO 방출 건축재료를 거실의 내장마감재로서 사용할 경우, 환기회수에 대응한 사용면적을 다음식 (1)에 따라 구하도록 되어 있다.

$$N_2S_2 + N_3S_3 \leq A \quad (1)$$

단,  $N_2, N_3$ : <표 7>에서 제시된 수치

$S_2$ : 제2종 HCHO 방출 건축재료 사용면적 ( $m^2$ )

$S_3$ : 제3종 HCHO 방출 건축재료 사용면적 ( $m^2$ )

A: 거실 바닥면적 ( $m^2$ )

공동주택의 경우 시공단계에서 마지막 공종단계에 해당하는 가구반입 및 설치공정은 반입 및 설치시기를 고려해 볼 때 실내 공기질 악화에 가장 큰 요소로 작용할 수 있으므로, 유해물질의 방출을 줄이기 위해서는 공장제조공정 과정의 시방과 가구의 제작시점 및 시공시점을

표 3. VOCs와 HCHO 발생원인과 인체에 미치는 영향

오염물질	주요발생원	인체에 미치는 영향
VOCs	벤젠	연기, 세척 및 청소용품, 페인트, 접착제, 파티클보드, 오드
	톨루엔	페인트, 접착제, 난방기구, 카펫트, 단열재, 왁스, 코킹제 등
	자일렌	페인트, 접착제, 난방기구, 카펫트, 코킹제, 염료착색제
	에틸벤젠	가구광택제, 페인트, 바닥왁스, 전기용품 등
	페타클로로벤젠	목재방부제, 곰팡이 제거제, 풀, 졸약
	디클로로벤젠	방향제, 곰팡이 제거제, 풀, 졸약
HCHO	목재방부제, 화장품, 가구, 합판, 단열재, 접착제	어지럼증, 신경계 손상, 피로감, 발암

앞당기고, 저 방출자재를 사용하고 환기를 병행하여야 한다. 가구는 대부분 공장 가공으로 이루어지며, 원자재, 접

표 4. HB마크의 건축자재 인증등급 (단위:  $mg/m^2 \cdot h$ )<sup>1)</sup>

구 분	일반자재 및 페인트	접착제
최우수	VOCs 0.10 미만	0.25 미만
	HCHO 0.03 미만	0.06 미만
우수	VOCs 0.10 이상~0.20 미만	0.25 상~0.50미만
	HCHO 0.03 이상~0.05 미만	0.06 이상~0.12 미만
양호	VOCs 0.20 이상~0.40 미만	0.50 이상~1.50 미만
	HCHO 0.05 이상~0.12 미만	0.12 이상~0.40 미만
일반 I	VOCs 0.40 이상~2.00 미만	1.50 이상~5.00 미만
	HCHO 0.12 이상~0.60 미만	0.40 이상~2.00 미만
일반 II	VOCs 2.00 이상~4.00 미만	5.00 이상~10.0 미만
	HCHO 0.60 이상~1.25 미만	2.00 이상~4.00 미만

표 5. 환경마크 인증기준

종 류	기 준	
	TVOC	HCHO
실내용 바닥장식재 (개정 검토중)	28일후 0.2 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.4 mg/h)	1.5 mg/l (파티클보드, 섬유판), 0.5 mg/l
벽 및 천장마감재 (개정 검토중)	28일후 0.2 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.4 mg/m <sup>2</sup> h)	-
접착제	0.1중%(실내용), 1중%(실외용), 1중%(실외용) 이하 또는 28일후 0.2 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.4 mg/m <sup>2</sup> h)	0.5 mg/l 또는 28일후 0.005 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.02 mg/m <sup>2</sup> h)
벽지	20 mg/m <sup>2</sup>	2 mg/l
장식용 합성수지 시트	28일후 0.2 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.4 mg/m <sup>2</sup> h)	1 mg/l 또는 28일후 0.05 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.125 mg/m <sup>2</sup> h)
수성페인트	VOCs 50g/l(에멀젼), 180g/l(수분산형), 100g/l(기타) 방향족탄화수소 1%이하의 용제 또는 제품합량 방향족탄화수소 0.15%(에멀젼), 0.1%(기타) 할로겐화탄화수소 미포함	포름알데히드 미포함 (단, 미반응 포름알데 히드의 존재는 무시)
유성페인트	VOCs 380g/l(유성) 방향족탄화수소 25% 이하, 벤젠 0.100m 이하의 용제 할로겐화탄화수소 미포함	포름알데히드 미포함 (단, 미반응 포름알데 히드의 존재는 무시)
사무용 목재가구	-	1.5mg/l 이하(목재)
사무용 칸막이	-	1.5mg/l 이하(목재)
부엌용 목재 식탁	-	1.5mg/l
붙박이형 목재 제품	28일후 0.2 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.4 mg/m <sup>2</sup> h)	1.5mg/l
목재 성형제품	28일후 0.2 mg/m <sup>2</sup> h (또는 7일후 0.4 mg/m <sup>2</sup> h)	0.5mg/l(실내용), 1.5mg/l(실내외겸용), 5.0mg/l(실외용),

방출속도 시험은 ENV 13419-1, ISO-16000-3, 4 환경부 공정 시험법 참조

1) 일반자재는 시험 7일차 결과를, 페인트와 접착제는 시험 3일차 결과를 기준으로 평가한다.

표 6. 일본 개정 건축기준법상의 건축재료 구분

HCHO 발산속도	고시로 정하는 건축재료
5 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 이하	(규제대상외 건축재료*)
5 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 초과~20 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 이하	제3종 HCHO 방출 건축재료
20 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 초과~120 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 이하	제2종 HCHO 방출 건축재료
120 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 초과	제1종 HCHO 방출 건축재료

\*규제대상외 건축재료 : 고시된 건축재료로서 HCHO 방출 등급구분이 F☆☆☆☆의 건축재료로 한다.

표 7. 거실의 종류·환기회수와 건축자재의 사용제한

거실종류	환기회수	N <sub>2</sub> (제2종)	N <sub>3</sub> (제3종)
주택등에서 거실	0.7회/h 이상	1.2	0.20
	0.5회 이상 0.7회/h 미만	2.8	0.50
주택등에서 거실이외의 거실	0.7회/h 이상	0.88	0.15
	0.5회 이상 0.7회/h 미만	1.4	0.25
	0.3회 이상 0.5회/h 미만	3.0	0.50

작제, 표면재 및 마감재의 접착시 사용하는 접착제에 의해 유해물질이 방출한다.

### 3. 적정 환기량 산정법

공동주택의 실내공기환경 개선을 위해서는 무엇보다도 이미 발생된 오염원의 실내확산을 억제할 수 있는 환기계획이 실시되어야 한다.

이때 배출되어야 할 환기량은 오염물질의 방출량과 실내 공기질 기준에 따라 산정이 가능하다. VOCs 또는 HCHO의 방출강도에 따른 실내공기질 농도를 환기량과 실내표면적으로 나타내면 다음과 같다.

$$ES - CQ = 0 \quad (2)$$

단, E : 건축재료의 단위면적당 방출속도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )  
S : 건축재료의 표면적 ( $\text{m}^2$ )  
C : 실내농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Q : 환기량 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

여기서 실내의 오염물질 농도를 기준으로 한 환기량을 산정하게 되면 식 (2)는 다음과 같이 정리되며, 이 환기량을 실체적으로 나누면 환기회수가 된다.

$$Q = \frac{ES}{C} \quad (3)$$

또한, 일반적으로 측정된 실내 오염물질의 농도 C는 다음 식으로도 표현할 수 있다.

$$C = \frac{M}{Q} = \frac{S \cdot EF}{N \cdot V} = \frac{L}{N} EF \quad (4)$$

단, M : 오염물질 방출량 (mg)

Q : 실내 환기량 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

S : 실내 표면적 ( $\text{m}^2$ )

L : 오염물질 부하율 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

EF : 오염물질 방출강도 ( $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )

N : 환기회수 (회/h)

V : 실체적 ( $\text{m}^3$ )

따라서, 신축 공동주택의 실내오염물질 배출을 위한 적정 환기량값은 앞서 제시한 식 (3), (4)에 따라 구할 수 있으며, 또는 미국 EPA(Environmental Protection Agency)의 National Risk Management Research Laboratory에서 개발한 IAQX프로그램을 이용하여 산정하는 것이 가능하다. EPA의 IAQX 프로그램은 <표 8>과 같이 다섯가지 부 프로그램으로 구성되며, 이를 부 프로그램중 GPS(General Purpose Simulation Program)를 활용하게 되면 신축공동주택의 사용재료의 오염물질 방출강도와 사용면적에 따른 오염물질의 시계열 농도값과 이와함께 법적 규제치나 권고치를 유지하기 위한 실의 적정 환기회수(Adequate Ventilation)의 계산이 가능하다.

## III. 사례 공동주택에 대한 환기량 평가

### 1. 평가 개요

본 절에서는 신축공동주택의 사용 건축자재와 가구 설치에 따른 적정 환기량 분석을 위해 32평형 공동주택을 선정하여 평가를 실시하였다. 대상 공동주택 내 세대별

표 8. IAQX 프로그램 구성

부프로그램 이름	기능
GPS(General Purpose Simulation Program)	소스, 싱크 모델에 의한 유해물질의 시계열 실내공기질 성능 평가
SLAB (Model for Emissions from Solid Materials)	재료내부 확산을 고려한 실내공기질 성능평가 (입력변수: 재료 체적당 유해물질 함유량, 확산계수, 분배계수, 재료 면적, 높이 등)
SPILL (Models for Solvent Spills)	솔벤트 유출에 의한 실내공기질 성능평가
PM (Models for Particulate Material)	분진에 의한 실내공기질 성능평가
VBX (Models for Solvent-Based Coating)	솔벤트 코팅에 의한 실내공기질 성능평가

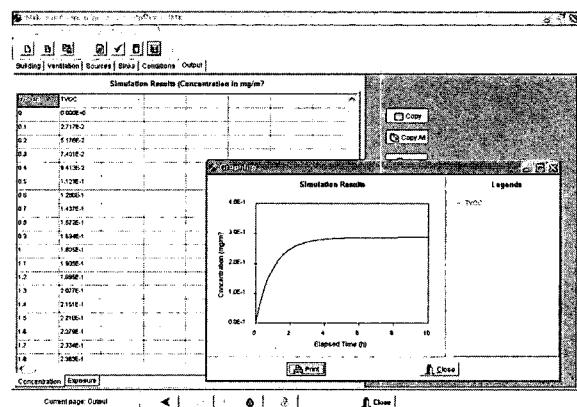


그림 1. IAQX GPS 시뮬레이션에 의한 분석결과 예

표 9. 대상 실의 조건

설명	부위	면적 산출 근거	소계 (m <sup>2</sup> )	비고
거실 (49.08 m <sup>3</sup> )	바닥	3.9×3.3+1.3×3.75+1×3.1+0.3×1.65	21.34	
	천장	3.9×3.3+1.3×3.75+1×3.1+0.3×1.65	21.34	
	벽체	(3.3+3.6+0.2+0.2+0.53+1.15+1.33+0.2+0.2+1.0+0.2)×2.3	27.39	
거실 (49.08 m <sup>3</sup> )	거실장	2.6×0.45×4+2.6×0.38×2+0.38×0.45×10+(0.30×0.45×2+0.65×0.3×2+0.65×0.45)×8	15.99	
	통로장	2.233×1.040+1.813×0.94×2+2.173×0.45×2+0.45×1.04×2+0.94×0.45×2+0.94×0.25+0.45×0.25×2+1.563×0.47+1.563×0.45×2+0.45×0.47×6+0.31×0.45+0.94×0.45)×2 +0.31×0.94	18.65	
	문	(0.9+1.0+0.75)×2.3	6.09	
	기타	0.375×2.213	0.83	신발장 측면
	계		111.63	
	바닥	3.9×3.6	14.04	
주침실 (32.29 m <sup>3</sup> )	천정	3.9×3.6	14.04	
	벽체	(3.9+3.6)×2×2.3-[(1+0.7)×2.3+1.8×2.4]	26.27	
	문	(1+0.7)×2.3	3.91	
	계		58.26	

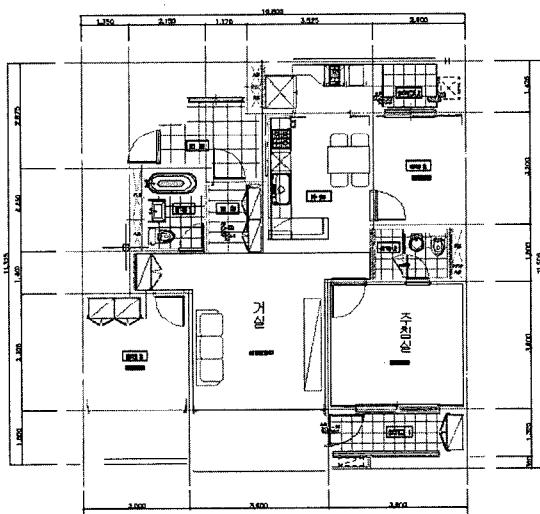


그림 2. 분석대상 세대의 평면도

실 구성을 <그림 2>와 같이 거실과 침실 1(주침실), 침실 2, 침실 3, 주방 및 욕실 1, 욕실 2, 다용도실, 현관으로 계획되어 있으며, 이 가운데 거실과 주침실을 대상으로 공기청정협회 인증등급 기준을 적용하여 건축자재 사용면적에 따른 적정환기량을 산정하였으며, 이와 함께 추가로 거실내 가구를 설치했을 때의 영향도 분석하였다. 이때 거실과 주침실의 총고는 2.3 m이며, 등급기준이 마련되어 있지 않은 가구기준은 일반자재의 HB마크 인증등급 기준을 동일하게 적용하는 것으로 하였다.

## 2. 대상실의 건축 마감재 등급에 따른 적정 환기회수

거실 및 주침실에 대해 공기청정협회에서 제시하고 있는 HB마크 자재 인증 등급기준을 바닥재 및 벽지, 천정지등의 실내 마감재에 적용하여 IAQX프로그램으로 적정 환기회수를 시뮬레이션하여 환기회수를 분석하였다.

### (1) 거실

거실의 시뮬레이션 분석결과를 살펴보면 VOCs의 등급별 필요환기회수를 다중이용시설등의 실내공기질 관리법에서 규정하고 있는 의료기관등의 권고기준값인 0.4 mg/m<sup>3</sup>값을 적용하여 산정하게 되면 HB마크 최우수 등급의 건축재료는 시간당 0.6회 이내의 환기회수가 필요하고, 우수등급은 0.6~1.1회, 양호등급은 1.1~2.3회, 일반 I 등급 및 일반II등급은 각각 2.3~11.4회, 11.4~22.7회의 환기회수가 필요한 것으로 나타났다.

또한 HCHO의 등급별 필요 환기회수를 다중이용시설 관리법의 유지기준인 0.12 mg/m<sup>3</sup>값을 적용하여 산정하게 되면, 최우수 등급의 건축재료는 시간당 0.6회 이내의 환기회수가 필요하고, 우수등급 0.6~0.9회, 양호등급은 0.9~2.3회, 일반 I 등급 및 일반 II 등급은 각각 2.3~11.4회, 11.4~23.7회의 환기회수가 필요하다.

거실에서 VOCs 기준의 건축 마감재 방출속도와 환기회수를 회귀식으로 나타내면  $y=5.6861x$ 이며, HCHO 기준의 회귀식은  $y=18.9537x$ 이다<sup>2)</sup>.

보편적인 실내공간의 자연 환기회수값인 0.5회/h를 가

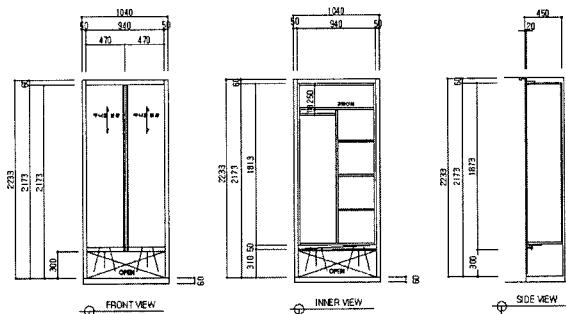


그림 3. 거실내 통로장의 제원

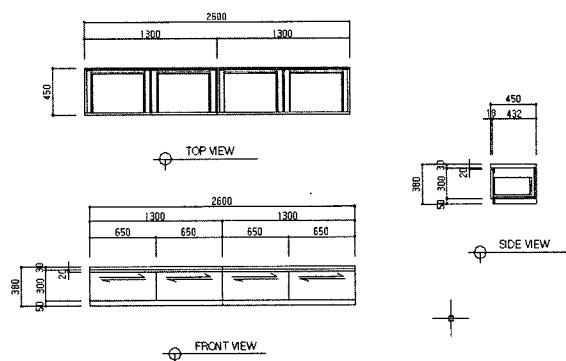


그림 4. 거실내 거실장의 제원

2) y는 환기회수, x는 VOCs 또는 HCHO의 오염물질 방출강도이다.

정할 경우<sup>3)</sup> 거실에서의 VOCs기준 마감재 방출강도는 최우수등급에 속하는  $0.09 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$  까지가 가능하며, 그 이상의 자재 방출강도를 나타내는 건축재료를 사용할 경우에는  $0.5\text{회}/\text{h}$  이상의 환기회수가 필요함을 알 수 있다. 마찬가지로  $0.5\text{회}/\text{h}$ 를 가정할 경우의 HCHO 기준 자재방출강도는 최우수등급내인  $0.03 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$  까지가 그 한계이다.

## (2) 주침실

주침실에서도 앞서와 같이 VOCs  $0.4 \text{ mg/m}^3$ 의 권고 기준과 HB마크 등급기준을 적용하면 최우수 등급은 시간당  $0.5\text{회}$ 의 환기회수가 필요하고, 우수등급은  $0.5\sim0.9\text{회}$ , 양호등급은  $0.9\sim1.8\text{회}$ , 일반I등급 및 일반II등급은 각각 시간당  $1.8\sim9.0\text{회}$ ,  $9.0\sim18.8\text{회}$ 의 환기회수가 필요한 것으로 나타났다.

HCHO의  $0.12 \text{ mg/m}^3$ 기준을 적용하면 최우수 등급은 시간당  $0.5\text{회}$ 의 환기회수가 필요하고, 우수등급은  $0.5\sim0.8\text{회}$ , 양호등급  $0.8\sim1.8\text{회}$ , 일반I등급 및 일반II등급은 각각  $1.8\sim9.0\text{회}$ ,  $9.0\sim18.8\text{회}$ 의 환기회수가 필요한 것으로 나타났다.

침실에서 VOCs 기준의 방출속도와 소요 환기회수를 회귀식으로 표현하면 이며, HCHO 기준의 회귀식은 이다.

여기에, 실내공간의 자연 환기회수값  $0.5\text{회}/\text{h}$ 를 적용해 검토해 보면 침실 VOCs 기준 자재방출속도는 우수등급 내에 속하는 방출속도  $0.11 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ 에 해당되며, HCHO 기준 방출속도도 우수등급내  $0.03 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ 에 해당하는 것으로 나타났다.

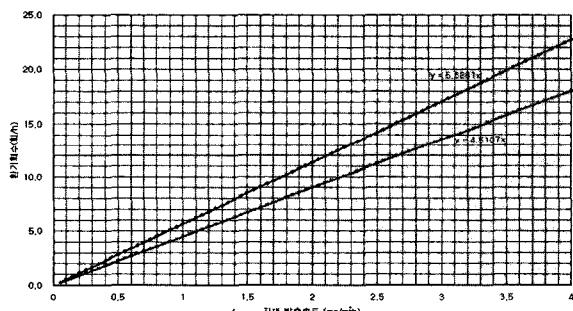


그림 5. VOCs의 등급별 환기회수

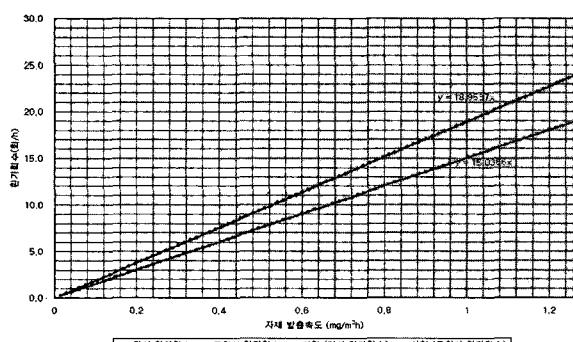


그림 6. HCHO의 등급별 환기회수

3) 김신도, 친환경자재의 검인증 방법, 2005 친환경건축인증 workshop, 대한건축학회 2005.2.18, p7.

## 3. 주침실 가구 추가시의 적정 환기량

앞서의 주침실 분석에서는 침실 내 장롱이나 서랍 등 가구나 각종 비품이 없는 상태에서 평가가 이루어진 것 이므로 <그림 7>과 같이 가구가 추가될 경우에 실내 공기질에 미치는 영향을 살펴보자 최우수등급의 하한치 기준(VOCs  $0.10 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ , HCHO  $0.03 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ )을 적용하여 필요 환기량을 분석하였다. 적용 가구재의 규격 및 방출면적 산출근거는 <표 10>과 같다.

<표 11>은 주침실에 가구재 면적이 늘어남에 따라 추가로 요구되는 환기회수를 분석한 것으로, 화장대를 침실에 설치하였을 경우 필요 환기회수는  $0.02\text{회}$  증가하고, 서랍장을 추가로 설치하면  $0.13\text{회}$ , 더블침대를 설치하면  $0.21\text{회}$  증가하는 것으로 나타났다. 또한 추가로 성인장을 설치하면 환기회수가  $0.61\text{회}$ 로 증가하게 된다.

거실과 침실에서 자연환기에 의한 실내오염물질 배출이 어려운 경우 기계환기에 의한 오염물질 배출을 고려해 볼 수 있다. 일반적으로 공동주택에 적용이 가능한 기계환기 시설로서 <그림 8>과 같은 장치의 설치가 가능하다.

환기시설 입구에서 측정된 기류속도  $0.8 \text{ m/s}$ 를 근거로 시간당 환기능력을 계산해 보면  $27.4 \text{ m}^3/\text{h}^4$ 에 해당되며, 이를 주침실에 적용해 보면 VOCs는 우수등급내 방출량 기준인 VOCs  $0.18 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ 까지, HCHO는 양호등급내

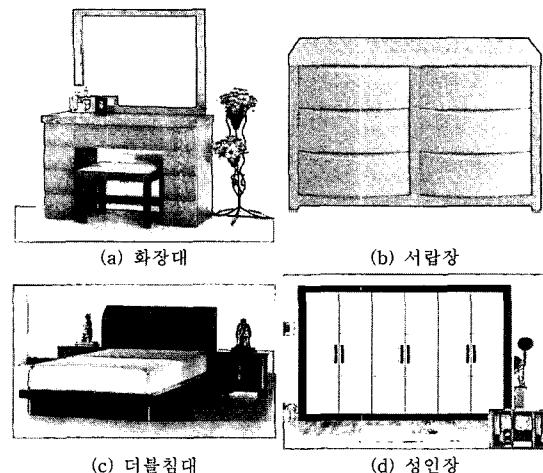


그림 7. 주침실의 가구 산입

표 10. 가구재의 규격 및 면적산출근거

품명	규격 $W \times D \times H(\text{m})$	면적 산출근거	소계 ( $\text{m}^2$ )	비고
화장대	$0.9 \times 0.4 \times 1.55$ (0.75)	$0.8 \times 0.8 \times 1 + 0.9 \times 0.4 \times 1 + 0.4 \times 0.75 \times 2 + 0.55 \times 0.4 \times 2 + (0.2 \times 0.75 \times 2 + 0.5 \times 0.2 \times 1 + 0.2 \times 0.4 \times 1) \times 2$	3.0	뒷면/내부 포함
서랍장	$1.214 \times 0.45 \times 0.66$	$1.214 \times 0.45 \times 4 + 0.45 \times 0.66 \times 6 + 1.214 \times 0.66 \times 2 + (0.6 \times 0.45 \times 1 + 0.6 \times 0.2 \times 2 + 0.45 \times 0.2 \times 2) \times 6 \times 2$	13.90	상동
더블침대	$1.2 \times 2.1 \times 0.95$	$(1.2 \times 2.1 + 1.2 \times 0.25 + 2.1 \times 0.25 + 1.2 \times 0.7) \times 2$	8.37	Side Table 제외
성인장	$3.0 \times 6.5 \times 2.1$	$3.0 \times 0.65 \times 4 + 3.0 \times 2.1 \times 4 + 0.65 \times 2.1 \times 12 + 0.4 \times 0.65 \times 8 + 1.0 \times 0.65 \times 2$	52.76	10자

표 11. 주침실에서 가구재 추가에 따른 소요환기량

구 분		자재방출량 (mg/m <sup>2</sup> ·h)	실표면적 (m <sup>2</sup> )	소요환기량 (m <sup>3</sup> /h)	환기회수 (회/h)
가구 없을 때	VOCs	0.10	58.26	14.57	0.45
	HCHO	0.03	58.26	14.57	0.45
화장대 추가시	VOCs	0.10	61.26	15.32	0.47
	HCHO	0.03	61.26	15.32	0.47
서랍장 추가시	VOCs	0.10	75.16	18.79	0.58
	HCHO	0.03	75.16	18.79	0.58
침대 추가시	VOCs	0.10	83.53	20.88	0.65
	HCHO	0.03	83.53	20.88	0.65
성인장 추가시	VOCs	0.10	136.29	34.07	1.06
	HCHO	0.03	136.29	34.07	1.06



그림 8. 기계환기 시설의 설치 예

방출량 기준인  $0.05 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 까지 가능한 것으로 나타났다.

#### 4. 실 규모변화에 따른 소요환기량 및 환기회수

최근 준공되었거나 현재 시공중인 우리나라 20평형부터 99평형까지의 공동주택을 대상으로 거실 및 침실의 규모를 분석한 결과 <표 12>와 같이 다양한 실별 제원을 나타내고 있다. 이 가운데 주요 규모의 실을 기준으로 창문면적을 실표면적의 10%, 천정고는 2.3 m, 여기에 HB마크에서 규정하고 있는 최우수등급의 하한치에 해당하는 VOCs  $0.10 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ , HCHO  $0.03 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 의 마감재료를 바닥, 벽체, 천장에 시공한 경우로 가정하여 요구 환기량을 분석하였다. 그 결과 <표 13>과 같이 실규모에 따른 필요 환기회수를 다중이용시설관리법에서 제시하고 있는 VOCs  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및 HCHO  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  기준에 의해 구해 보면, 실 규모가  $2.30 \times 2.63 \text{ m}$ 에서 점차 증가시켜  $5.40 \times 6.60 \text{ m}$ 로 커지면서 오염물질 부하율  $L$ 이  $2.3 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서  $1.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 로 감소하고 이에따라 환기회수도 0.56회에서 0.35회로 감소함으로써 실규모가 커질수록 필요환기회수는 작아지는 경향을 보이고 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 신축 공동주택내의 거실과 침실을 대상으로 실내 사용 마감재와 가구재의 사용에 따른 적정 환

4)  $3.14 \times 0.055\text{m}(\text{반경}) \times 0.055\text{m} \times 0.8\text{m/s} \times 3,600\text{s/h}$ 로 계산하였다.

표 12. 공동주택 주요실별 장단변 제원 (단위: m)

평형	지역	거실	침실1	침실2	침실3
20평	경남	-	$3.25 \times 3.91$	$3.0 \times 3.27$	-
22평	경남	-	$3.52 \times 3.31$	$2.97 \times 3.56$	-
25평	경남	$3.5 \times 4.69$	$3.5 \times 3.24$	$3.2 \times 2.74$	-
25평	경남	$3.8 \times 4.69$	$3.8 \times 3.23$	$2.9 \times 2.915$	$2.3 \times 2.63$
27평	경남	$3.77 \times 4.925$	$3.785 \times 3.5$	$3.16 \times 2.9$	$2.885 \times 2.955$
28평	경남	-	$3.56 \times 4.93$	$3.9 \times 3.26$	-
29평	경남	$3.7 \times 4.8$	$3.6 \times 3.3$	$2.7 \times 3.2$	$2.5 \times 2.9$
30평	경남	$4.1 \times 5.24$	$3.8 \times 3.53$	$3.2 \times 3.23$	$3.5 \times 3.23$
30평	경남	$4.7 \times 4.79$	$4.1 \times 3.52$	$3.2 \times 3.22$	-
31평	경남	$4.4 \times 4.49$	$3.8 \times 3.24$	$3.2 \times 3.24$	$3.5 \times 2.94$
31평	경남	$4.7 \times 5.26$	$4.4 \times 3.83$	$3.2 \times 3.2$	$2.6 \times 2.56$
32평	경남	$3.9 \times 4.5$	$3.9 \times 3.6$	$3.0 \times 3.3$	$2.6 \times 3.2$
32평	경남	-	$2.93 \times 3.56$	-	-
32평	경남	$4.67 \times 5.41$	$4.385 \times 3.8$	$3.485 \times 3.5$	$2.87 \times 2.6$
32평	경남	$4.73 \times 4.75$	$4.1 \times 3.49$	$3.27 \times 3.23$	$3.2 \times 3.23$
32평	경남	$4.4 \times 1.3$	$4.1 \times 3.53$	$3.5 \times 3.23$	-
33평	경남	$4.7 \times 4.1$	$4.4 \times 3.83$	$3.2 \times 3.23$	-
33평	경남	$2.92 \times 4.42$	$3.82 \times 4.09$	$2.88 \times 2.92$	$3.19 \times 2.92$
34평	경남	$4.68 \times 4.965$	$4.24 \times 3.505$	$3.48 \times 3.2$	$2.86 \times 3.05$
34평	경남	$4.7 \times 4.84$	$4.1 \times 3.54$	$3.5 \times 3.24$	$2.87 \times 2.94$
34평	경남	$4.73 \times 5.44$	$4.41 \times 3.83$	$3.51 \times 3.23$	$2.9 \times 2.8$
35평	경남	$4.68 \times 4.99$	$4.39 \times 3.79$	$3.49 \times 3.51$	$2.88 \times 2.69$
38평	경남	$5.04 \times 3.84$	$4.4 \times 3.84$	$3.24 \times 3.2$	$3.24 \times 2.9$
39평	부산	$3.9 \times 4.2$	$3.6 \times 4.2$	$2.6 \times 3.6$	$2.7 \times 3.6$
40평	경남	$5.29 \times 5.42$	$4.39 \times 3.82$	$4.08 \times 3.82$	$3.18 \times 3.22$
40평	경남	$5.3 \times 5.34$	$4.7 \times 3.84$	$4.1 \times 3.84$	$3.2 \times 3.24$
42평	경남	$7.6 \times 5.15$	$4.1 \times 3.79$	$3.2 \times 3.53$	-
43평	부산	$4.05 \times 5.3$	$3.6 \times 5.3$	$2.95 \times 3.9$	$2.7 \times 3.9$
44평	부산	$4.6 \times 4.38$	$3.8 \times 5.83$	$4.3 \times 2.8$	$4.3 \times 2.7$
46평	경남	-	$4.39 \times 4.12$	$3.19 \times 3.82$	$2.88 \times 3.82$
46평	경남	$5.3 \times 5.83$	$4.7 \times 3.83$	$3.2 \times 3.83$	$2.9 \times 3.83$
47평	경남	$5.3 \times 5.24$	$4.4 \times 3.84$	$3.2 \times 3.54$	$2.9 \times 3.54$
47평	경남	$7.57 \times 5.52$	$4.39 \times 4.12$	-	-
48평	경남	$5.3 \times 5.23$	$4.4 \times 4.13$	$2.9 \times 3.83$	-
49평	부산	$4.94 \times 5.745$	$4.505 \times 4.245$	$3.88 \times 4.245$	$2.94 \times 4.245$
49평	경남	$5.3 \times 5.64$	$4.7 \times 4.14$	$3.5 \times 3.84$	$3.2 \times 3.84$
51평	서울	$3.95 \times 3.98$	$4.2 \times 3.98$	$3.6 \times 3.3$	-
52평	서울	$3.95 \times 3.99$	$3.92 \times 3.99$	$3.825 \times 3.8$	$5.1 \times 3.0$
54평	서울	$3.95 \times 3.98$	$3.98 \times 4.2$	$3.9 \times 3.3$	-
55평	경남	$5.62 \times 5.94$	$4.71 \times 4.14$	$3.5 \times 4.14$	$2.91 \times 4.14$
56평	부산	$4.68 \times 5.03$	$4.12 \times 5.33$	$4.005 \times 4.59$	$3.705 \times 4.59$
63평	부산	$5.63 \times 5.96$	$4.73 \times 4.71$	-	-
64평	부산	$4.8 \times 7.2$	$5.35 \times 4.6$	$3.25 \times 4.73$	$3.0 \times 4.73$
65평	서울	$5.1 \times 3.2$	$4.2 \times 3.9$	$3.3 \times 3.6$	$3.3 \times 3.0$
66평	경남	$6.22 \times 5.94$	$5.01 \times 4.14$	$3.8 \times 4.14$	$3.51 \times 4.14$
71평	서울	$7.8 \times 3.2$	$4.2 \times 4.2$	$3.3 \times 3.6$	$3.3 \times 3.0$
75평	서울	$5.1 \times 6.6$	$4.8 \times 3.9$	$3.57 \times 3.9$	$3.6 \times 3.9$
78평	서울	$7.8 \times 3.2$	$4.2 \times 3.9$	$3.8 \times 3.6$	$3.8 \times 3.0$
83평	부산	$7.4 \times 5.16$	$3.9 \times 7.38$	$3.7 \times 5.16$	$3.9 \times 3.8$
86평	부산	$7.9 \times 6.46$	$6.65 \times 4.57$	$3.7 \times 3.91$	-
96평	부산	$6.7 \times 5.4$	$6.6 \times 5.4$	$4.35 \times 3.83$	-
99평	서울	$6.45 \times 4.95$	$6.45 \times 4.45$	$5.0 \times 4.75$	$3.6 \times 4.75$

표 13. 실 규모별 소요 환기량 및 환기회수

구 분		실체적 (m <sup>3</sup> )	실 표면적 (m <sup>2</sup> )	자재 방출량 (mg/m <sup>2</sup> ·h)	소요 환기량 (m <sup>3</sup> /h)	환기 회수 (회/h)
2.30×2.63m	VOCs	13.91	31.30	0.10	7.83	0.56
	HCHO			0.03	7.83	0.56
2.50×2.90m	VOCs	16.68	37.36	0.10	9.34	0.56
	HCHO			0.03	9.34	0.56
2.70×3.20m	VOCs	19.87	39.98	0.10	9.77	0.49
	HCHO			0.03	9.77	0.49
3.00×3.30m	VOCs	22.77	43.90	0.10	10.96	0.48
	HCHO			0.03	10.96	0.48
3.00×3.50m	VOCs	24.15	45.81	0.10	11.45	0.47
	HCHO			0.03	11.45	0.47
3.30×3.60m	VOCs	27.32	49.95	0.10	12.49	0.46
	HCHO			0.03	12.49	0.46
3.30×3.90m	VOCs	29.60	52.97	0.10	13.24	0.45
	HCHO			0.03	13.24	0.45
3.53×4.10m	VOCs	33.23	57.64	0.10	14.41	0.43
	HCHO			0.03	14.41	0.43
3.84×4.40m	VOCs	38.86	64.52	0.10	16.13	0.42
	HCHO			0.03	16.13	0.42
3.90×6.28m	VOCs	56.33	86.23	0.10	21.56	0.38
	HCHO			0.03	21.56	0.38
3.90×7.14m	VOCs	64.05	95.83	0.10	23.96	0.37
	HCHO			0.03	23.96	0.37
5.40×6.60m	VOCs	81.97	113.83	0.10	28.46	0.35
	HCHO			0.03	28.46	0.35

기량을 VOCs와 HCHO의 유해물질 배출 측면에서 산정하는 것을 목표로 연구가 진행되었으며, 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 대상 공동주택에 대한 거실과 주침실의 요구 환기량을 VOCs 및 HCHO의 유해물질 배출 측면에서 비교해 보면 거실의 경우가 주침실보다 양쪽 모두에 대한 환기량이 더 필요한 것으로 나타났다. 이것은 바닥재와 벽지, 천장지 이외에 가구재까지도 포함됨으로써 거실의 체적대비 오염물질 방출면적비, 즉 오염물질 부하율  $L$ 이  $2.3 \text{ m}^2/\text{m}^3 (=111.63/49.08)$ 으로 주침실의 오염물질 부하율  $1.8 \text{ m}^2/\text{m}^3 (=58.26/32.29)$ 보다 높기 때문이다. 이와같이 거실의 오염물질 부하율이 높아지게 된 이유는 가구재를 추가하였기 때문이며 가구재를 제외하게 되면 거실의 오염물질 부하율은  $1.6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 로 오히려 침실보다 낮아지게 된다. 이와같이 각 실의 요구 환기량은 오염물질 부하율에 따라 증감하는 경향을 보이고 있음을 파악할 수 있다.

둘째, 현재까지는 실내오염물질의 주요 발생원인 건축자재, 즉 일반자재, 페인트, 접착제에 대한 관리만 이루어지고 있으나, 가구에 대해서는 별도 규정이 마련되어 있지 않고 있어 이로인한 실내 공기질의 오염이 가중될 가능성이 매우 높다. 특히 친환경 건축물 인증제에서는 생활용 가구의 개인 소유화를 억제하기 위한 한가지 방안으로 불받이 가구장의 설치를 권장하는 상황에서 이에

대한 검토는 매우 중요하다고 볼 수 있겠다.

셋째, 건물의 실내공기환경 개선을 위해서는 무엇보다도 이미 발생된 오염원의 실내확산을 억제할 수 있는 환기량의 산정 등 적정 환기계획이 이루어져야 한다. 환기의 방법으로는 개구부를 이용한 자연환기 방법뿐만 아니라, 지속적인 상시환기가 가능한 기계환기 설비의 도입도 적극 검토해야 할 것이다.

본 연구에서는 거실 및 침실만을 대상으로 하였으나 추후 연구에서는 전체 주호를 대상으로 한 환기회수 산정과 함께, 마감재, 가구재이외의 접착제나 실링재도 함께 고려한 환기회수 산정이 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김신도(2005). 2005 친환경건축인증 workshop, 친환경자재의 검인증 방법, 대한건축학회.
- 編著 國土交通省住宅局建築指導課外(2003). 改正 建築基準法に對應した建築物の シックハウス対策マニュアル, 工學圖書.
- 이연구(2004). 신축공동주택의 실내공기환경 개선방안, 대림기술정보 겨울호.
- 이윤규·김창남(2004). 기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 20권 11호.
- 김창남·한길원·이윤규(2004). 실내공기중의 개별 VOC 농도변화에 관한 측정 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 계획계, 24권 2호.
- 김지혜·강동화·최동희·김선숙·여명석·김광우(2004). 건축자재의 VOCs 방출특성 예측을 위한 모델링 활용에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 계획계, 24권 2호.
- 류영희·남지연·이경희(2004). 공동주택 실내공기질 측정을 통한 현황 및 환기량과 자재종류에 따른 실내공기질 예측, 대한건축학회 학술발표논문집, 24권 1호.
- 배일호·윤동원·김현철(2004). 건축자재의 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물질 방출특성에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 계획계, 24권 1호.
- 박용승·유복희·홍천화·김정호, 김신도(2004). 건축자재에서 발생되는 VOCs와 HCHO의 방출농도 평가, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 계획계, 24권 1호.
- 전정윤·박준석·손장열(2005). 서울시 주택내 휘발성 유기화합물 공기오염농도의 계절변화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 21권 3호.
- 김태연(2004). 오염물질 발생원의 실내 공기질에 관한 기여율 해석, 대한건축학회 논문집 계획계, 20권 2호.
- 이윤규·한길원(2003). 공동주택의 포름알데히드 농도특성 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 19권 10호.
- 박진철(2003). 주거건축물의 실내공기 환경개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 19권 6호.
- 이정재(1995). 실내공기오염 및 환기대책, 공기조화 냉동공학 24권 1호.
- H.B. Awbi(1991). Ventilation of Buildings, E & FN SPON.
- Tang G. Lee(1996). Vital Signs-Health and Built Environment: Indoor Air Quality, The University of Calgary.

(接受: 2005. 5. 16)